



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet  
elektrotehnike i  
računarstva

**Diplomski studij**

**Računarstvo**

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski  
sustavi

Računalno inženjerstvo

**Informacijska i komunikacijska tehnologija**

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

**Elektrotehnika i informacijska tehnologija**

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

**(Izborni predmet profila)**

# Internet stvari

5. Komunikacijski protokoli za komunikaciju uređaja (sloj podatkovne poveznice): LoRaWAN, LTE-M, NB-IoT

Ak. god. 2022./2023.

# Sadržaj

- Sigfox
- LoRa i LoRaWAN
- LTE-M
- NB-IoT

# LPWAN – Low Power Wide Area Network

- Mala potrošnja energije
- Uređaji mogu raditi na bateriju
- Velike udaljenosti komunikacije ( $\sim x$  km)
- Niže frekvencije komunikacije → povećana udaljenost
- Manja brzina prijenosa podataka

# Sigfox



- Tehnologija razvijena 2009. u Toulouse, France
- Patentirana i zatvorena tehnologija
- Koristi nelicencirani pojas ISM
- Ograničenja:
  - Do 140 poruka po uređaju dnevno može poslati (*duty cycle* 1%, 6 poruka/sat)
  - Veličina podataka koje prenosi: 12 okteta (slanje) i 8 okteta (primanje)
  - Brzina prijenosa do 100 bps (slanje) i 600 bps (primanje)
- Originalno je zamišljen da je komunikacija ide u jednom smjeru (kao senzorska mreža)

# Sigfox – fizički sloj



- Ultra Narrow Band (UNB)
- Frekvencije:
  - 868 MHz: Europa (regulatorni dokument ETSI 300-200)
  - 902 MHz: Sjeverna Amerka (regulatorni dokument FCC part 15)
- 333 kanala, širina kanala 100 Hz
- Osjetljivost prijamnika: -120 dBm/-142 dBm
- Snaga predajnika: +14 dBm, a u Sjevernoj Americi +22 dBm

# Sigfox – sloj podatkovne poveznice



- MAC – okvir kod slanja (*uplink*)

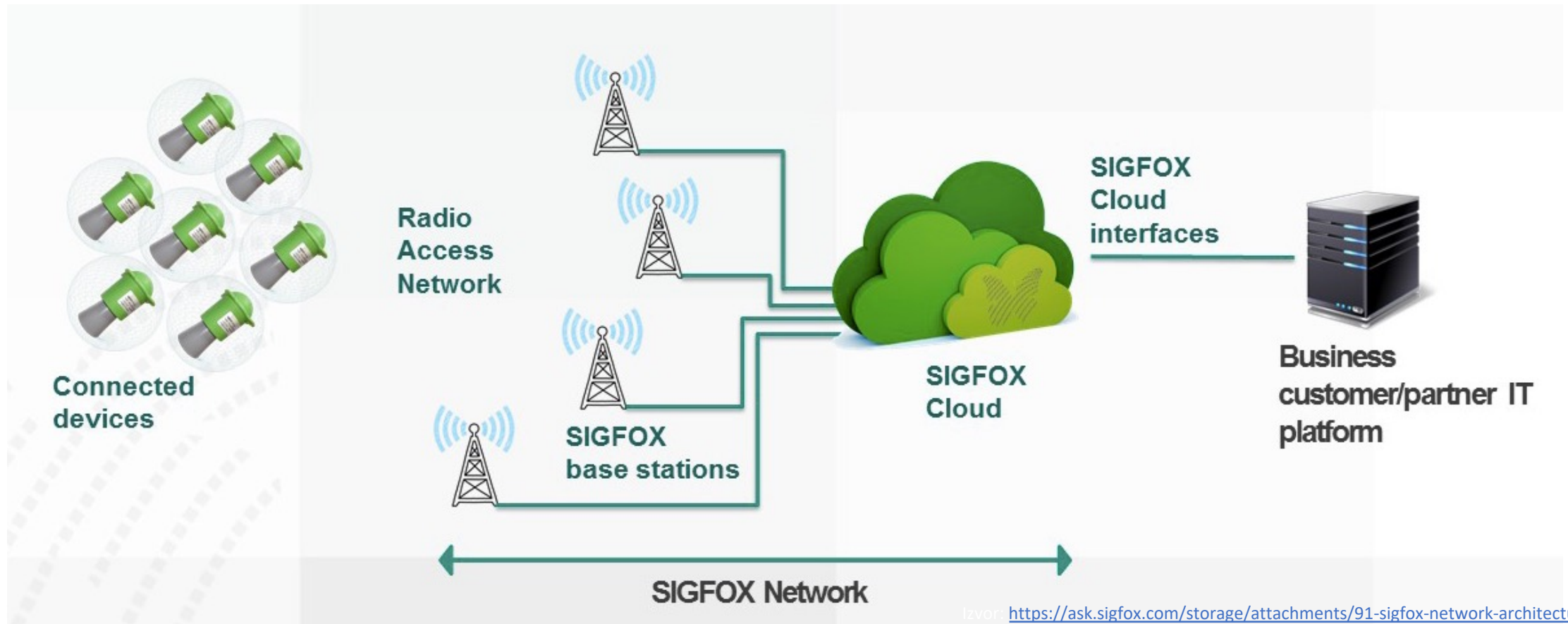
32 bita	16 bita	32 bita	0-96 bitova	varijabilno	16 bita
Preamble	Sink. okvira	ID krajnjeg uređaja	Sadržaj okvira	Autentikacija	FCS

- MAC – okvir kod primanja (*downlink*)

32 bita	13 bita	2 bita	8 bita	16 bita	varijabilno	0-64 bita
Preamble	Sink. okvira	Zastavice	FCS	Autentikacija	Kodovi greške	Sadržaj okvira

- FCS – Frame Check Sequence

# Sigfox – topologija



Izvor: <https://ask.sigfox.com/storage/attachments/91-sigfox-network-architecture.jpg>



# Sigfox – primjena



- Za slanje male količine podataka u praskovima (*burst*)
- Alarmi
- Jednostavna brojila
- Senzori okoline (ne velike preciznosti  $\sim 0,004$ )

# LoRa i LoRaWAN

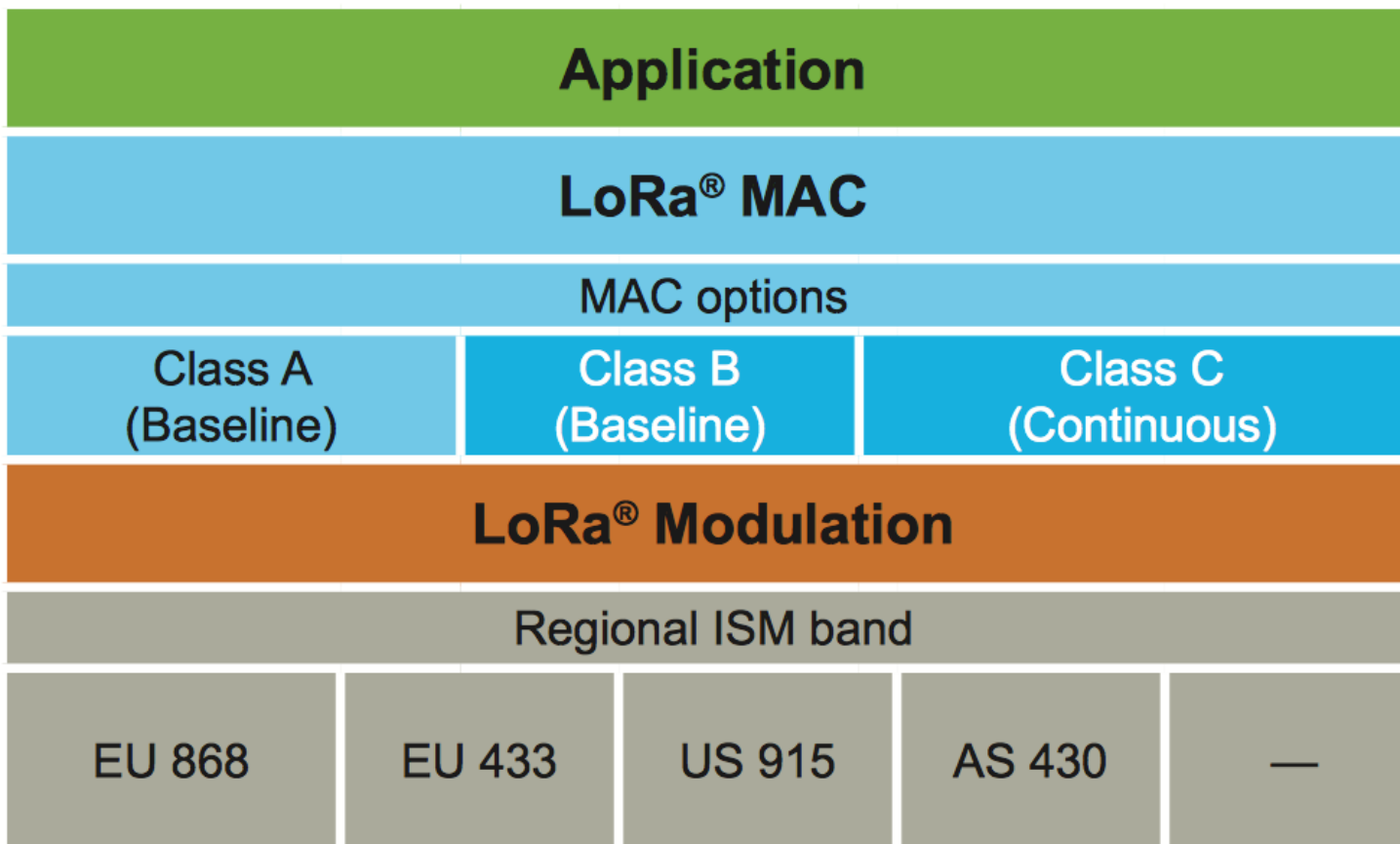


# LoRa ili LoRaWAN



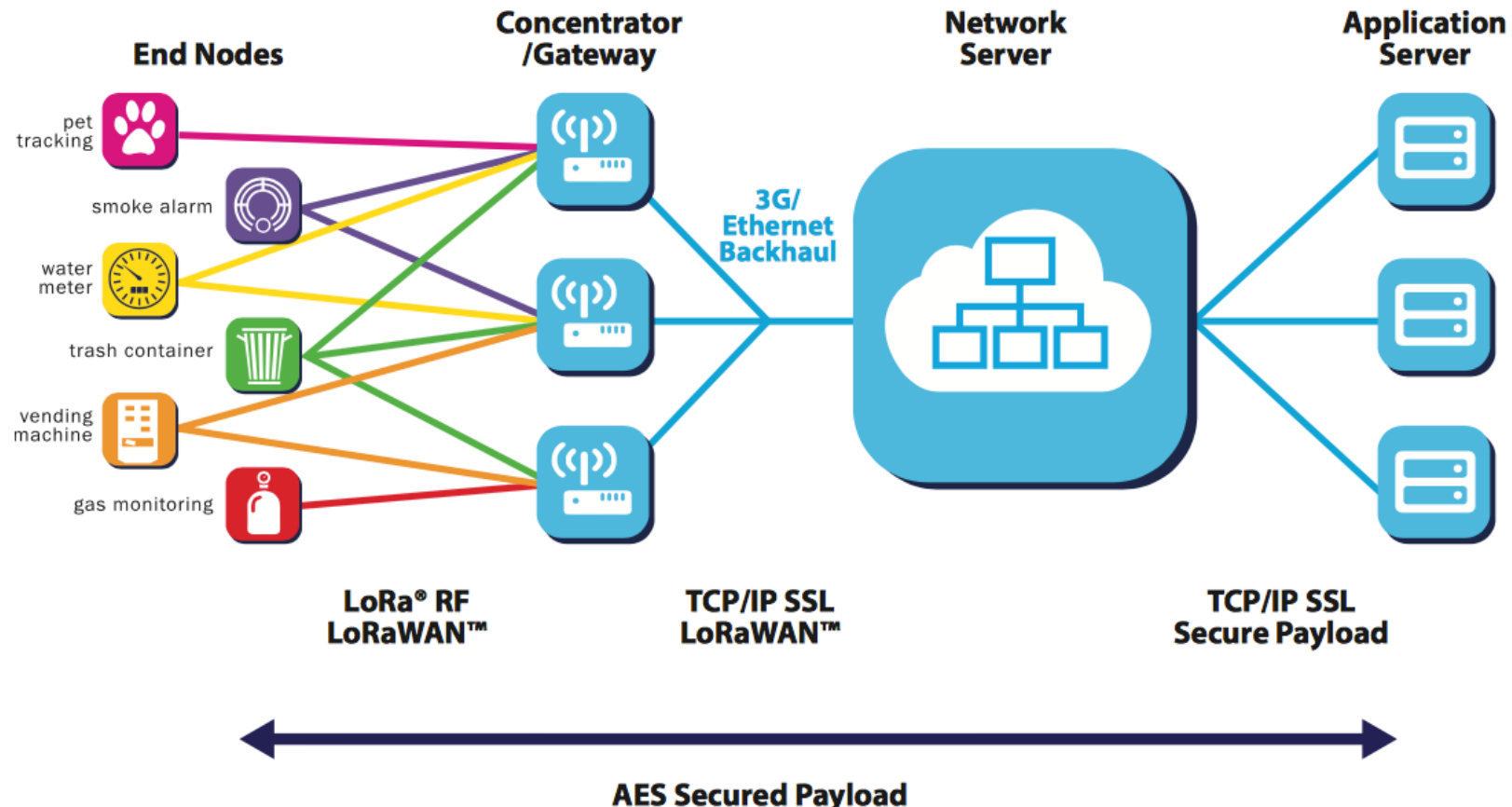
- LoRa – definira fizički sloj
- LoRaWAN – definira protokol i arhitekturu sustava

# LoRa – arhitektura čvora



[https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf)

# LoRa – mrežna arhitektura

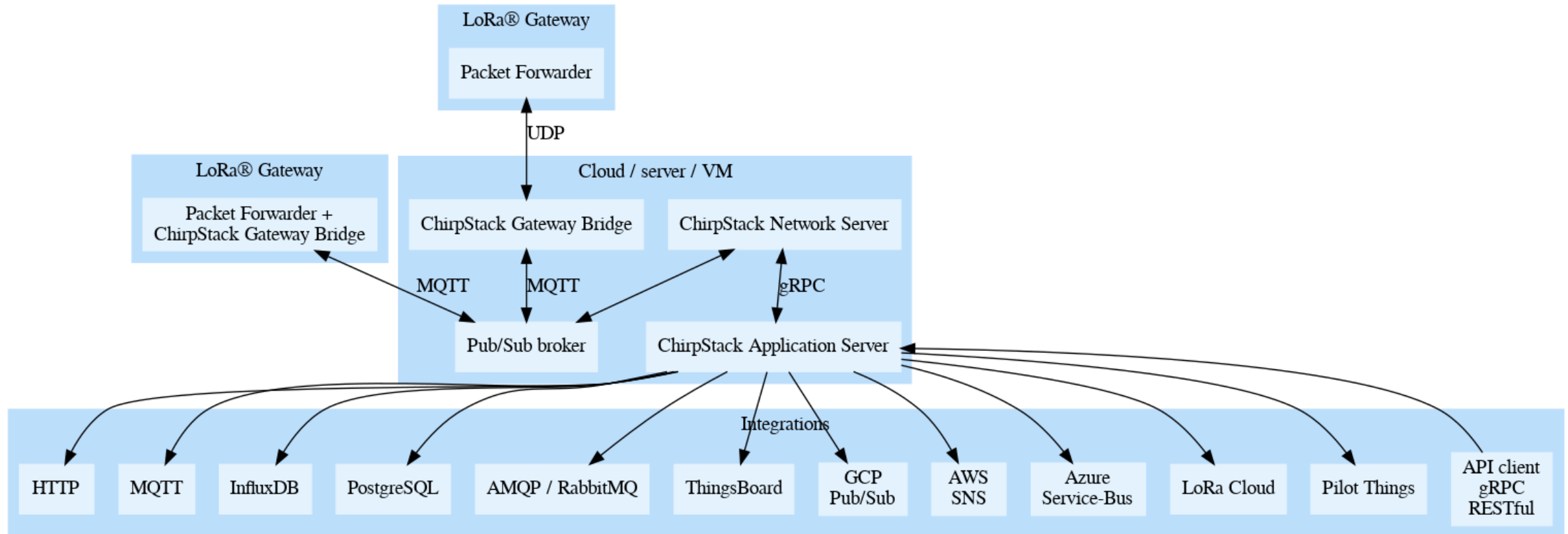


[https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf)

# ChirpStack

- LoRaWAN Network Server složaj otvorenog koda
- komponente:
  - ChirpStack Gateway Bridge
    - za komunikaciju s mrežnim prilazom
  - ChirpStack Network Server
    - implementacija mrežnog poslužitelja
  - ChirpStack Application Server
    - implementacija aplikacijskog poslužitelja
  - ChirpStack Gateway OS
    - za izvođenje cijelog složaja na mrežnom prilazu koji je na Raspberry Pi-u
    - temelji se na Linuxu

# ChirpStack - arhitektura



# LoRa – klase uređaja



- Klasa A
  - Najbolje za napajanje baterijama
  - Svi uređaji u mreži podržavaju ovaj način rada
  - Slanje podataka na uređaj je moguće samo nakon uspješnog slanja
  - Koristi se mehanizam ALOHA
- Klasa B
  - Primanje u raspoređenom vremenskom periodu
  - Prima signal za sinkronizaciju od GW-a
- Klasa C
  - Kontinuirano ima otvoren prozor za primanje
  - Primanje se zaustavlja jedino kada se šalju podaci



# Frekvencije rada

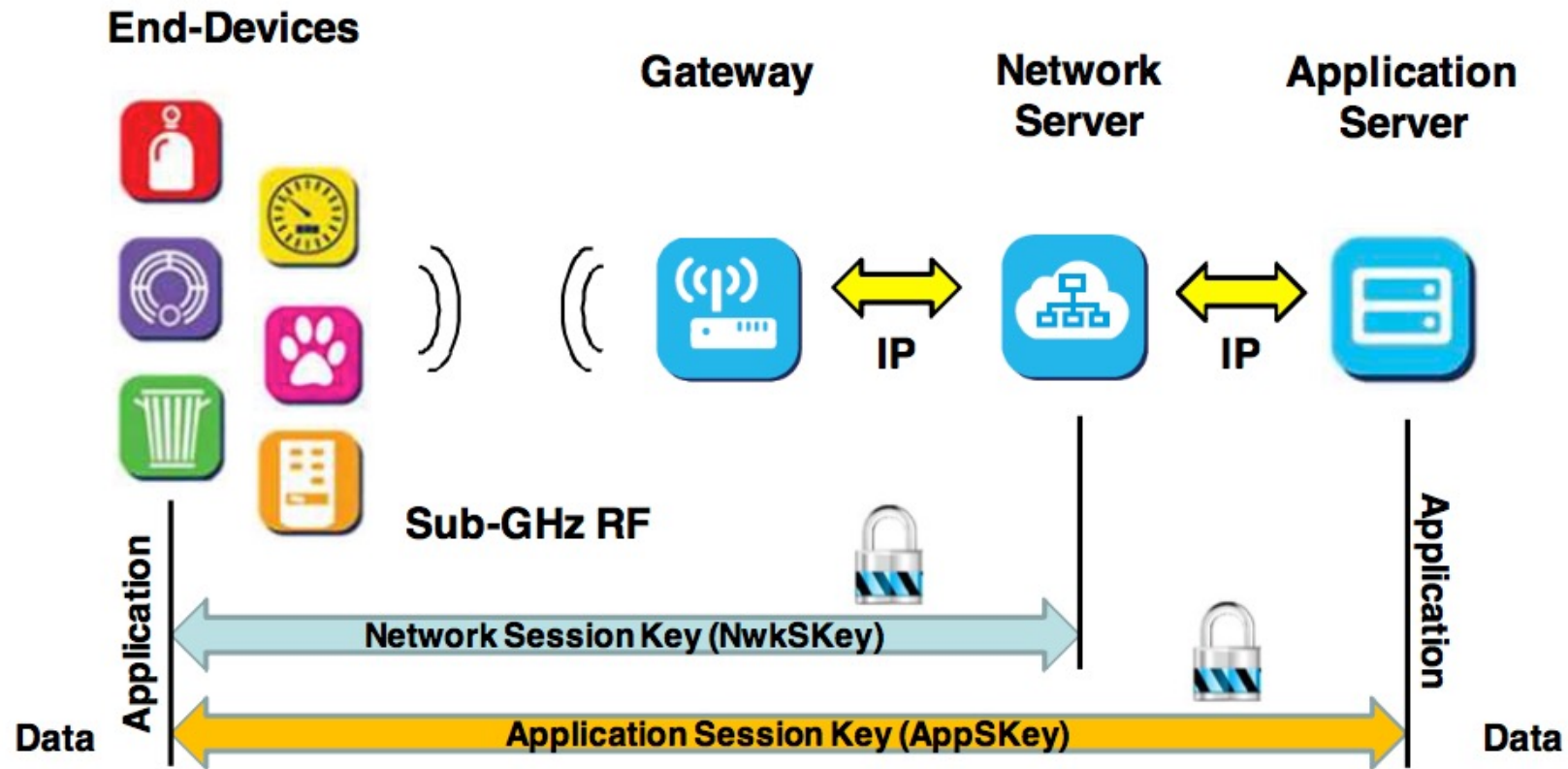


	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	980bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

# Sigurnost



- Koristi se AES-128 kao i u IEEE 802.15.4



# Aktivacija



- Prije nego se krajnji uređaj može koristiti u mreži LoRaWAN potrebno ga je aktivirati
- Informacije potrebne za aktivaciju su:
  - Adresa uređaja – Device Address (DevAddr)
    - 32 bita, jedinstven u mreži, šalje se u svakom okviru
    - Koriste ga: krajnji uređaj, mrežni poslužitelj i aplikacijski poslužitelj
  - Ključ mrežne sjednice – Network Session Key (NwkSKey)
    - Ključ od 128 bita – AES, jedinstven za svaki krajnji uređaj, omogućuje integritet komunikacije
    - Koriste ga: krajnji uređaj i mrežni poslužitelj
  - Ključ aplikacijske sjednice – Application Session Key (AppSKey)
    - Ključ od 128 bita – AES, jedinstven za svaki krajnji uređaj, koristi se zaštitu aplikacijskih podataka
    - Koriste ga: krajnji uređaj i aplikacijski poslužitelj

# Aktivacija



- Dvije aktivacijske metode:
  1. Over-the-Air Activation (OTA A)
    - Temelji se na globalno jedinstvenom identifikatoru
    - Poruke se razmjenjuju bežično
  2. Activation By Personalization (ABP)
    - Dijeljeni ključevi se pohranjuju na krajnji uređaj u proizvodnji
    - Vrijede samo za specifičnu mrežu

[http://www.chipcad.hu/letoltes/19065\\_IoT4\\_FinalSlides.pdf](http://www.chipcad.hu/letoltes/19065_IoT4_FinalSlides.pdf)

# Implementacije

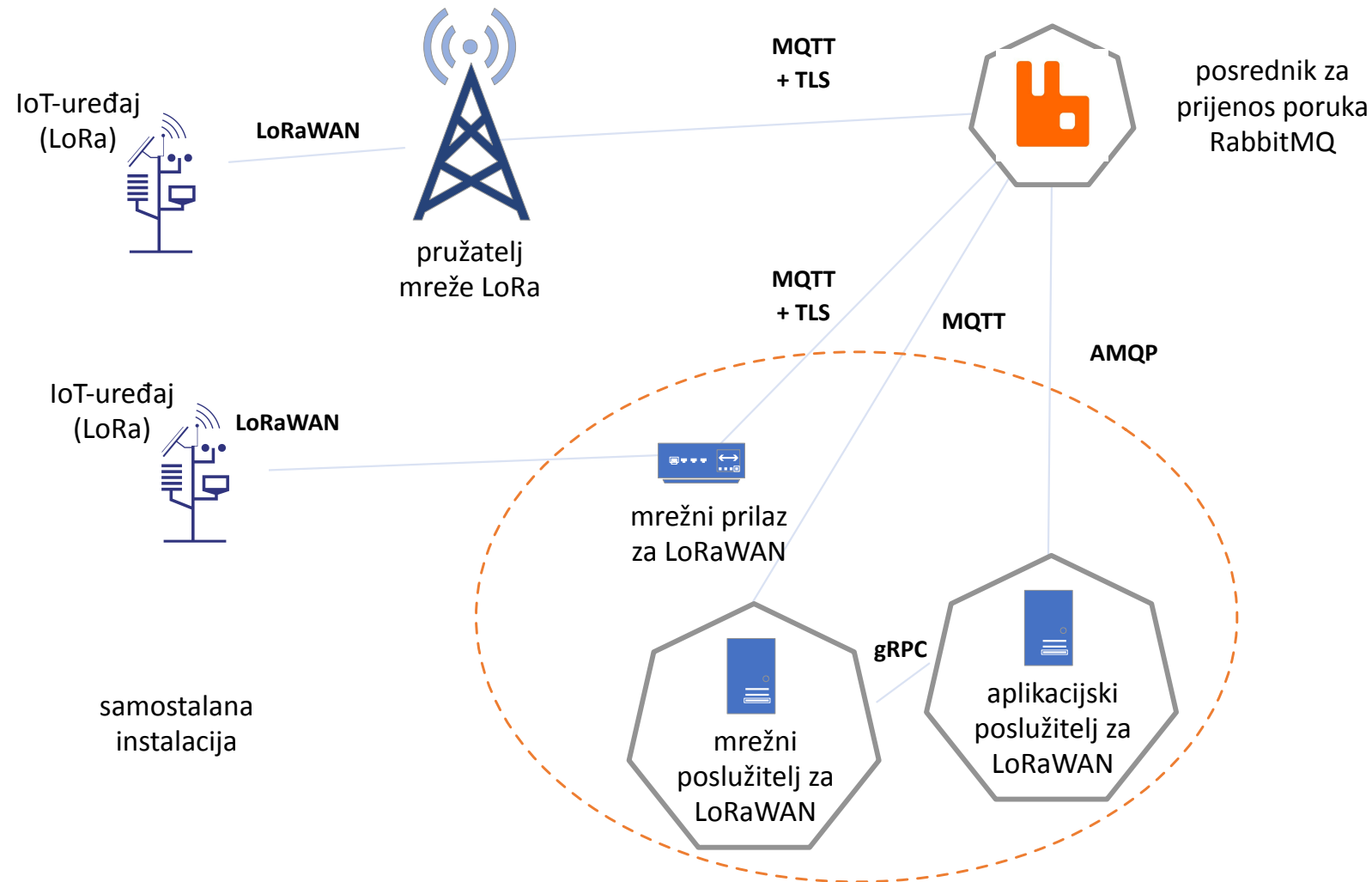


- Komercijalne:
  - Operatori pružaju mrežu i naplaćuju ju:
    - OiV (Hrvatska), KPN (Nizozemska), Orange (Francuska), Unidata (Italija), ...
    - Unidata (partner na projektu symbloTe) - operator LoRaWAN mreže u Italiji
    - <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-network-lora-lorawan/>
- Javne:
  - Bilo tko se može uključiti i pružati pristup
  - Ažurni popis na <https://www.thethingsnetwork.org>
- Privatne:
  - Svatko može pokrenuti svoju privatnu mrežu

# Implementacija LoRaWAN-a u IoT labu



IoT-polje



# Projekti i studentski radovi s LoRaWAN-om

# M2M Communications Challenges



- U suradnji s kompanijom Ericsson Nikola Tesla
- Od 2011. - svake godine druga tema
- Teme vezane uz Machine-to-Machine (M2M) komunikaciju
- 2017.
  - Uporedba LoRaWAN-a s NB-IoT-om, BLE, WiFi
  - Izrada prototipa s više tehnologija na jednom krajnjem uređaju
  - Odabir komunikacijske tehnologije ovisno o kontekstu



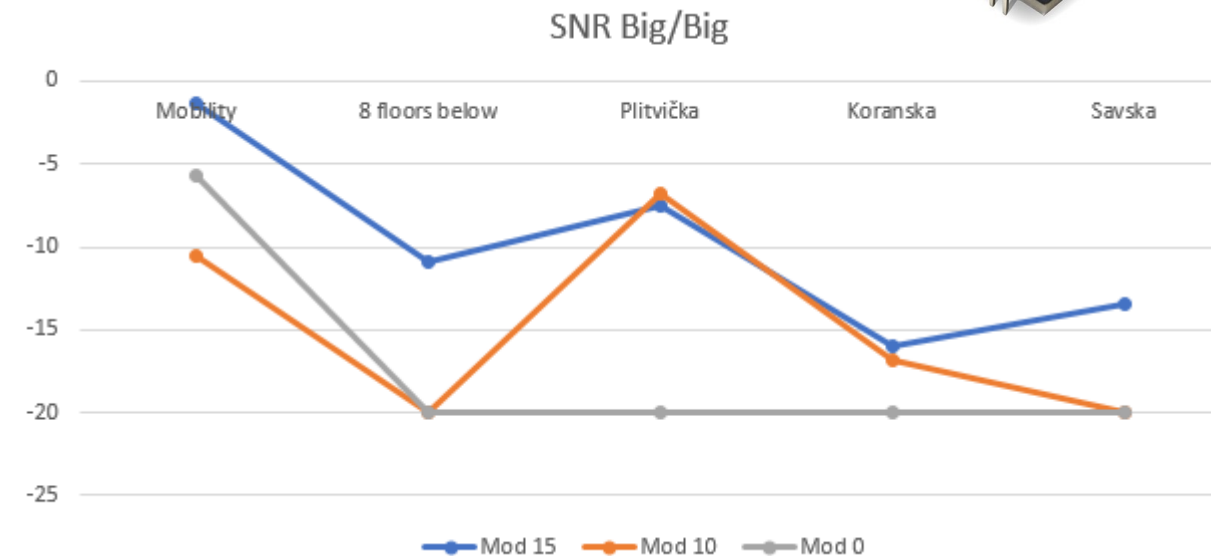
# Mjerenje vanjskih prilika te praćenje potrošnje energije LoRa i LoRaWAN modula

- Studentski projekt na diplomskom studiju
  - Mateo Červar, Matija Cvetnić



Potrošnja energije koristeći *small* i *big* antene [mA]

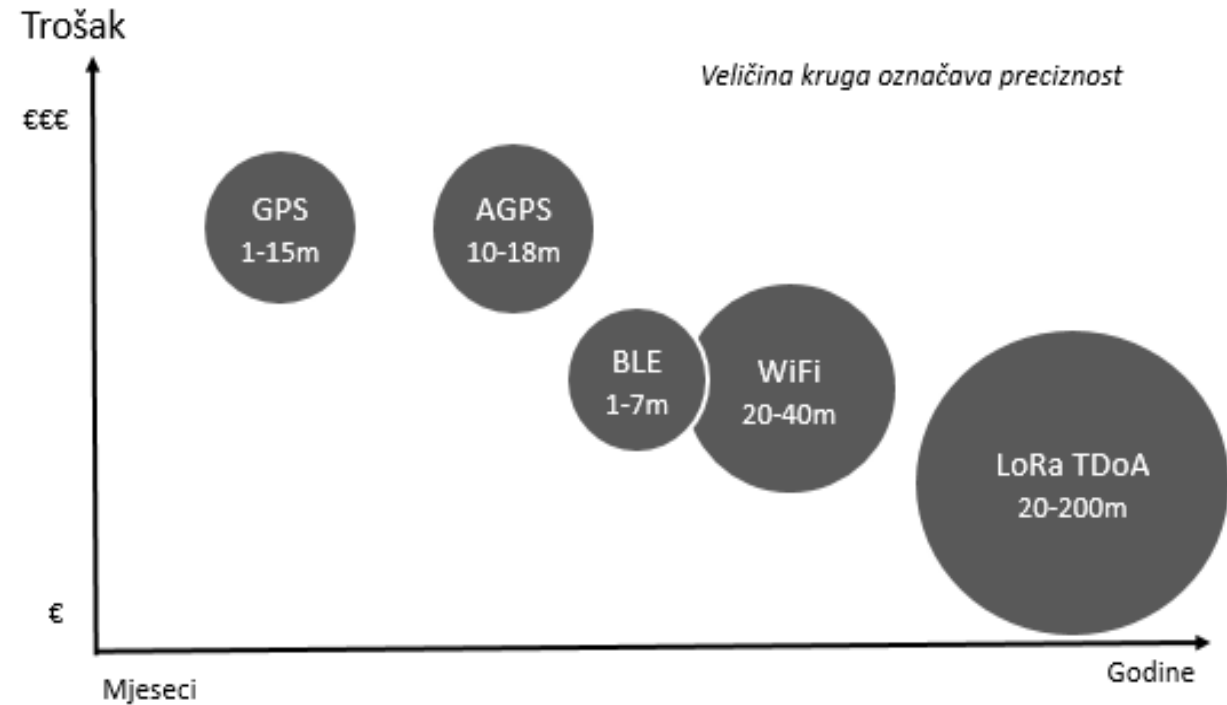
	Antenna size	Low (0)	High (10)	Max (15)
LoRa	Small	19.7	22.96	39.4
	Big	19.86	23.2	40.8
LoRaWAN	Small	17.74	32.66	39.34
	Big	18.56	33.02	40.08



# Lociranje uređaja u Internetu stvari (1)



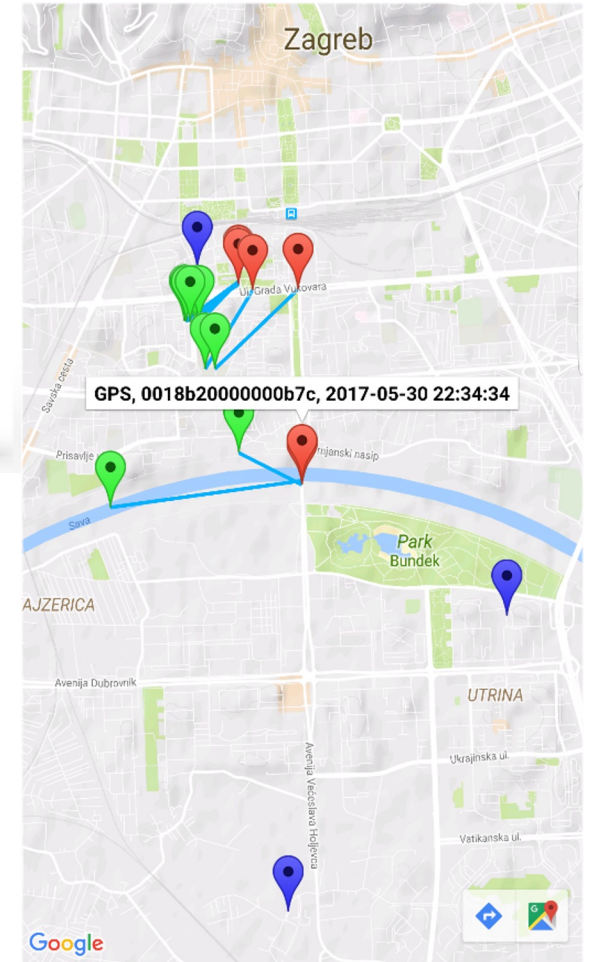
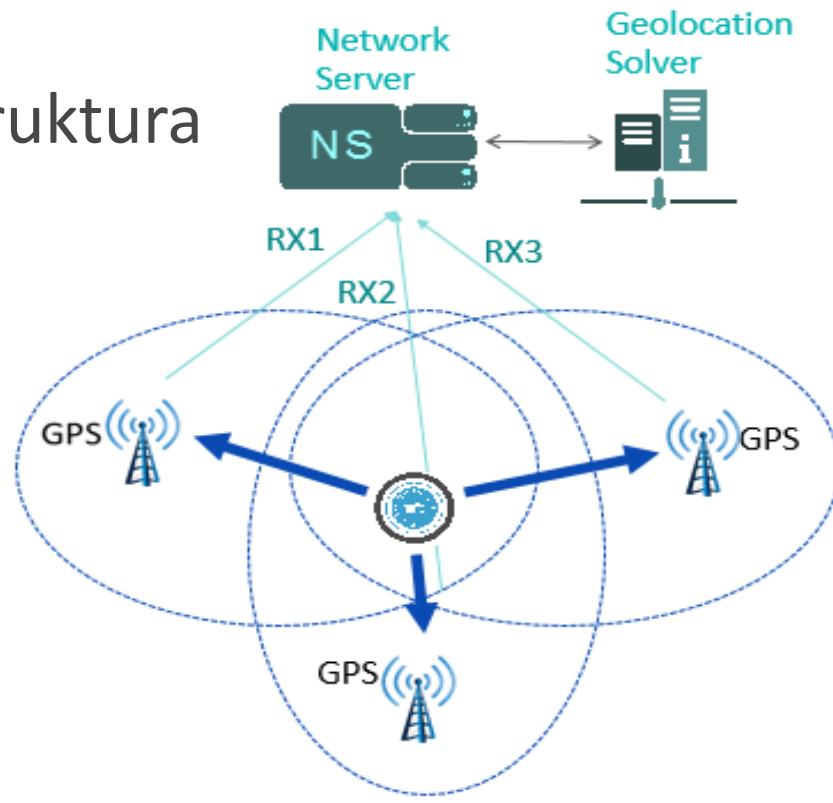
- Diplomski rad:  
Mateo Červar



Usporedba tehnologija pozicioniranja

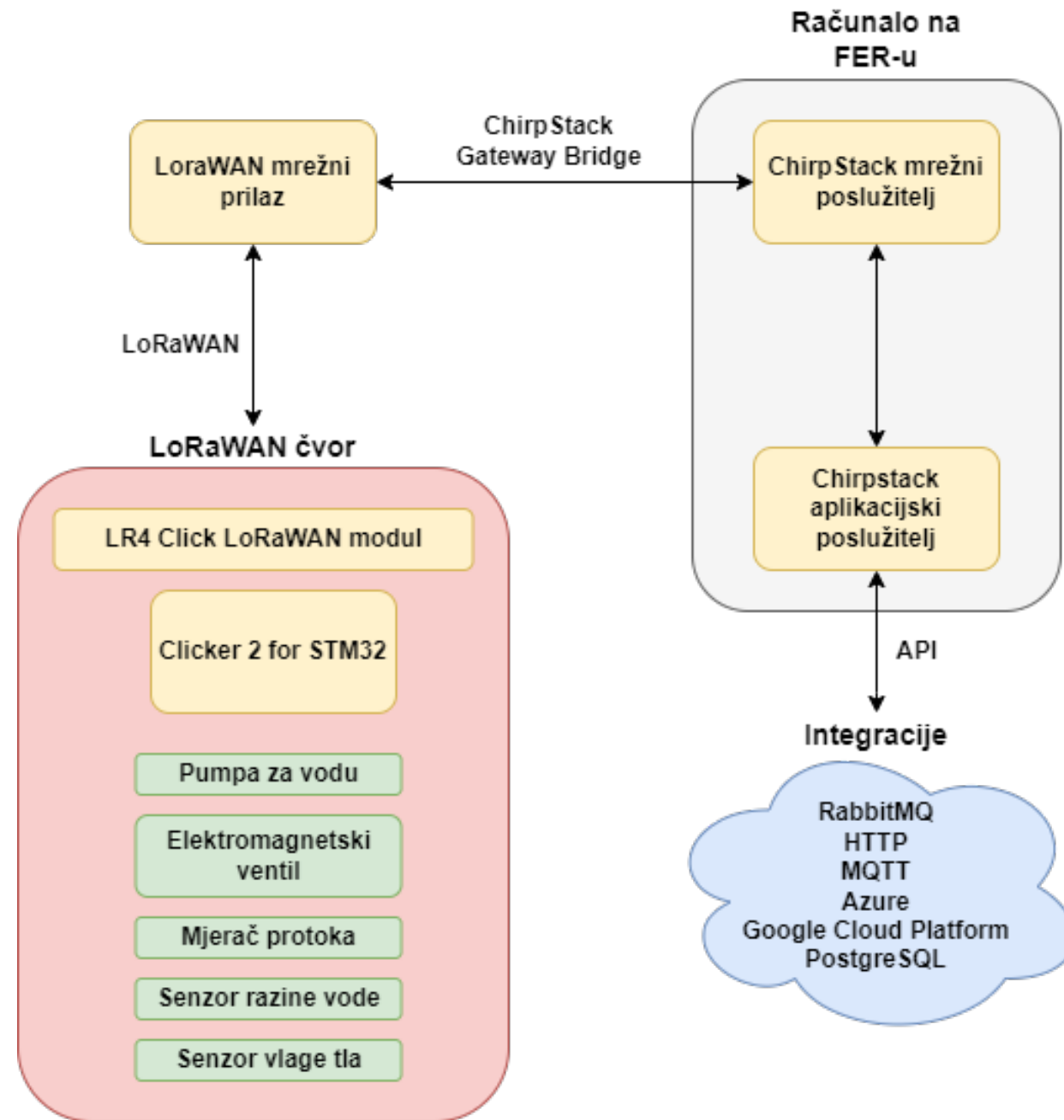
# Lociranje uređaja u Internetu stvari (2)

- Diplomski rad: Mateo Červar
- Mrežna infrastruktura

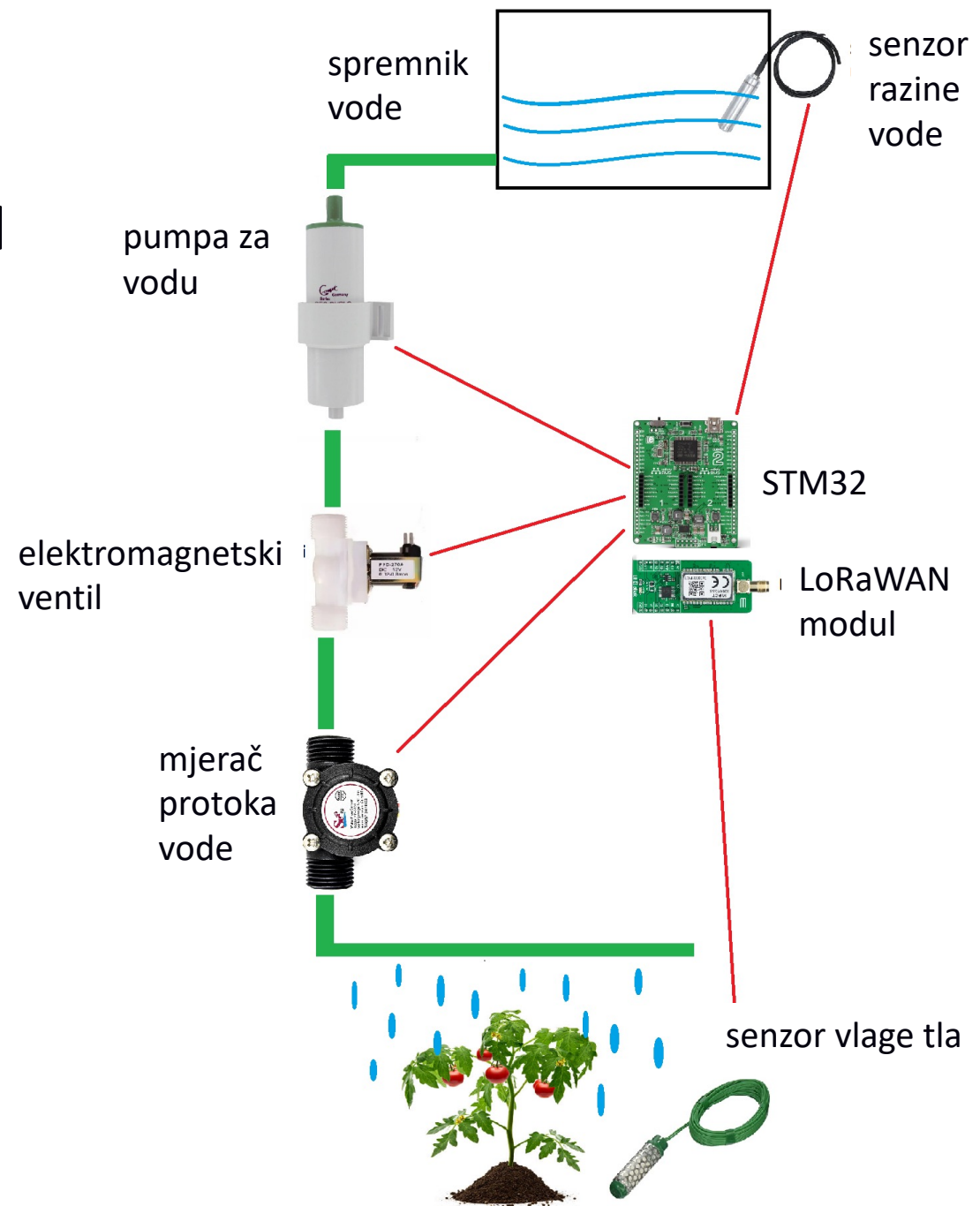
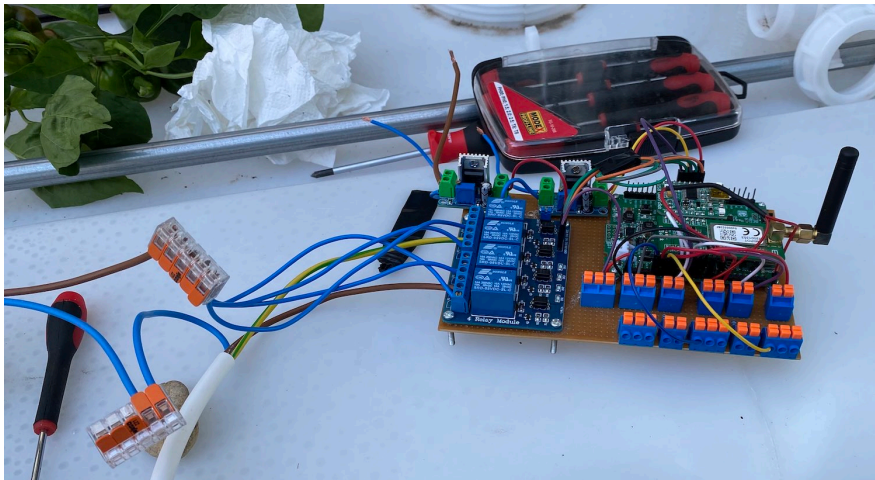


# Prikupljanje podataka i aktuacija s uređajima u urbanom vrtu (1)

- Arhitektura



# Prikupljanje podataka i aktuacija s uređajima u urbanom vrtu (2)



# Pokretna mreža

## Standardi i standardizacijska tijela

- ITU – International Telecommunication Union
  - Najviše definiraju ciljeve i standarde za uređaje koji će biti označeni sa 4G ili 5G
- 3GPP
  - Konzorcij koji definira tehnologije i nadogradnje
  - Sve je organizirano u izdanja (release):
    - Rel 8-9: LTE (2008., 2009.)
    - Rel 10-12: LTE Advanced (2011., 2012., 2015.)
      - Rel 12: **LTE-M (Cat 0)**
    - Rel 13-14: LTE Advanced Pro (2016., 2017.)
      - Rel 13: **LTE Cat-M1 (eMTC), NB-IoT (LTE Cat-NB ili NB1)**
      - Rel 14: Vehicle-to-Everything (V2X), poboljšanja za MTC, NB-IoT (NB2)
    - Rel 15: (2019.) – poboljšanja za MTC, 5G Vehicle-to-x service (V2X)
    - Rel 16: (2020.) – 5G expansion (advanced V2X, Industrial IoT, URLLC), 5G Efficiency (power consumption)

# LTE-M

# LTE Cat 0 – Release 12

- Smanjene brzine prijenosa na 1Mbps
- Half-duplex komunikacija
- Uveden Power Save Mode (PSM)
  - Uređaj može ući u duboki san i brzo se probuditi i povezati
  - Može se jednom dnevno buditi i slati podatke
  - Maksimalni period spavanja 12.1 dana (ovisi o mreži npr. 2 ili 4 sata)



# LTE Cat-1 – Release 8

- Prvenstveno se koristi u SAD-u za M2M komunikaciju
- Veće brzine: 10Mbps (skidanje), 5Mbps (slanje)
- Može prenositi zvuk i video
- Manja potrošnja energije nego 4G-LTE
- Može se prebaciti na 3G ili 2G

# LTE Cat-M1 (eMTC ili LTE-M) – Release 13

- eMTC – enhanced Machine Type Communication
- Smanjena širina pojasa sa 20MHz na 1,4Mhz → jednostavniji uređaji, manja potrošnja
- Smanjena izlazna snaga za 50%
- Brzine 375 Kbps ili 1 Mbps
- Primjena: V2V, zvuk
- Dodani mehanizmi za mogućnost kratkog spavanja uređaja (10,24s) → radio troši 15μA u prosjeku
- PSM iz Cat-0 se primjenjuje i ovdje

# NB-IoT

# NB-IoT (LTE Cat-NB ili NB1) – Release 13

- Ciljevi:
  - 10 godina trajanja baterija s kapacitetom 5 Wh
  - Dodatna pokrivenost prostora (+20 dB)
  - Cijena modula ~\$5
- Bitne promjene:
  - Širina kanala samo 180kHz → smanjenje troškova modula i potrošnje energije
  - Nema prijenosa zvuka ili videa
  - Nema pokretnosti između ćelija
  - Maksimalni gubitak signala (MCL – max. coupling loss) 164 dB što je slično LoRaWAN-u i Sigfoxu
    - Komunikacija prolazi u podrumima, tunelima
    - Povećan domet za 7x na otvorenom prostoru
- Brzina prijenosa: ~26Kbps *downlink*, ~62Kbps *uplink*

# NB-IoT – smještaj kanala

- Između dva LTE kanala
    - U praznom dijelu koji nije iskorišten
  - Na mjestu GSM kanala
    - Neki GSM kanali se onda koriste za NB-IoT
  - Unutar LTE kanala
    - Multipleksiranje LTE-a i NB-a
- 
- Teoretski omogućuje spajanje do 200.000 uređaja po ćeliji

# NB-IoT (NB2) – Release 14

- Glavne nadogradnje:
  - preciznije pozicioniranje: OTDOA i E-CID
  - dodano višeodredišno razaslanje (*multicast*)
  - poboljšana mobilnost
    - moguće ponovno spajanje kada smo spojeni, nije potrebno ići u mod rada *idle*
  - povećane maksimalne brzine:
    - 127Kbps *downlink*, 159Kbps *uplink*
  - podrška za više (15) operatora (uz matičnog) → povećana gustoća uređaja 1M/km<sup>2</sup>
  - Nova klasa snage 14dBm → potrebne manje baterije

# NB-IoT – prve instalacije 2017.

- DT – pokrenuto u 8 zemalja u EU (Njemačka, Nizozemska, Austrija, Hrvatska, Grčka, Mađarska, Poljska, Slovačka)
  - Primjene: praćenje stvari, pametno parkiranje, pametna brojila
- T-Mobile US, Ericsson, Qualcomm
  - Primjene: prikupljanje senzorskih podataka (temp., vlažnost, plinovi, ...), alarmiranje za poplave
- U-blox, PinMyPet, Huawei i operator Vivo: praćenje životinja
- China Mobile, ZTE – testiranje mreže na 200 mjesta
- Telia Norway – pilot projekt za praćenje 1000 ovaca u Norveškoj

# NB-IoT moduli



- sixfab – [Arduino NB-IoT Shield](#) (80€→62€), [Raspberry Pi NB-IoT Shield](#) (80€)

- Ovo imamo u laboratoriju



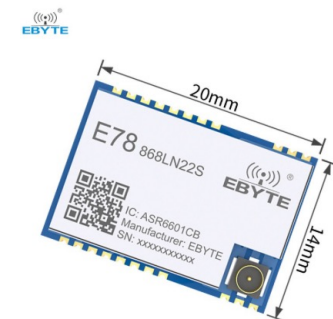
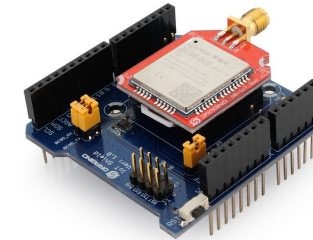
- [QUECTEL BG96 LTE CAT M1/CAT NB1/EGPRS](#) - ~30€

- [Dragino](#) - ~45\$ → 20€

- Botletics SIM7000 LTE CAT-M1 NB-IoT Cellular - ~125\$→65\$

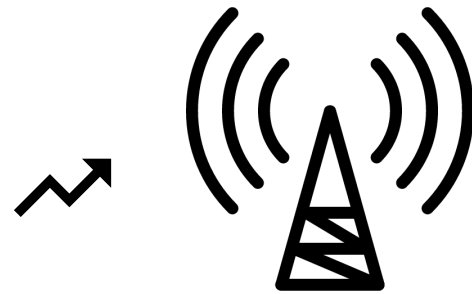
- ASR6601 LoRaWAN 868MHz SoC LoRa RF IoT Wireless Module Long Range Data Transceiver Development Board E78-868LN22S(6601) Ebyte – [AlliExpress](#) 8\$

- SIMCom SIM7070G – [AlliExpress](#) ~17€





# NB-IoT arhitektura sustava



poslužitelj  
IoT platform

# Spajanje na mrežu

- Koriste se AT komande za komunikaciju s modulom

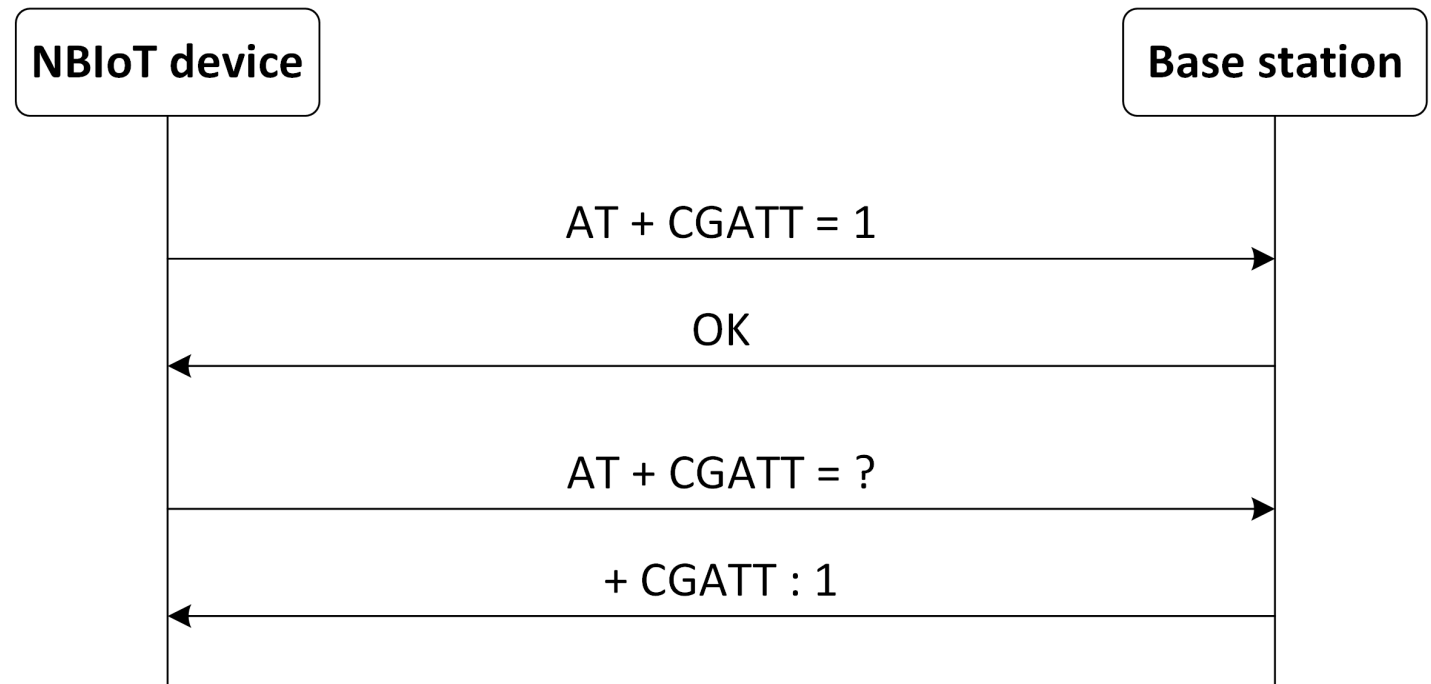
- CGATT – spajanje/odspajanje na/sa mrežu/e

- Format:

- AT+CGATT=<state>

- State:

- 0 – odspajanje
  - 1 – spajanje



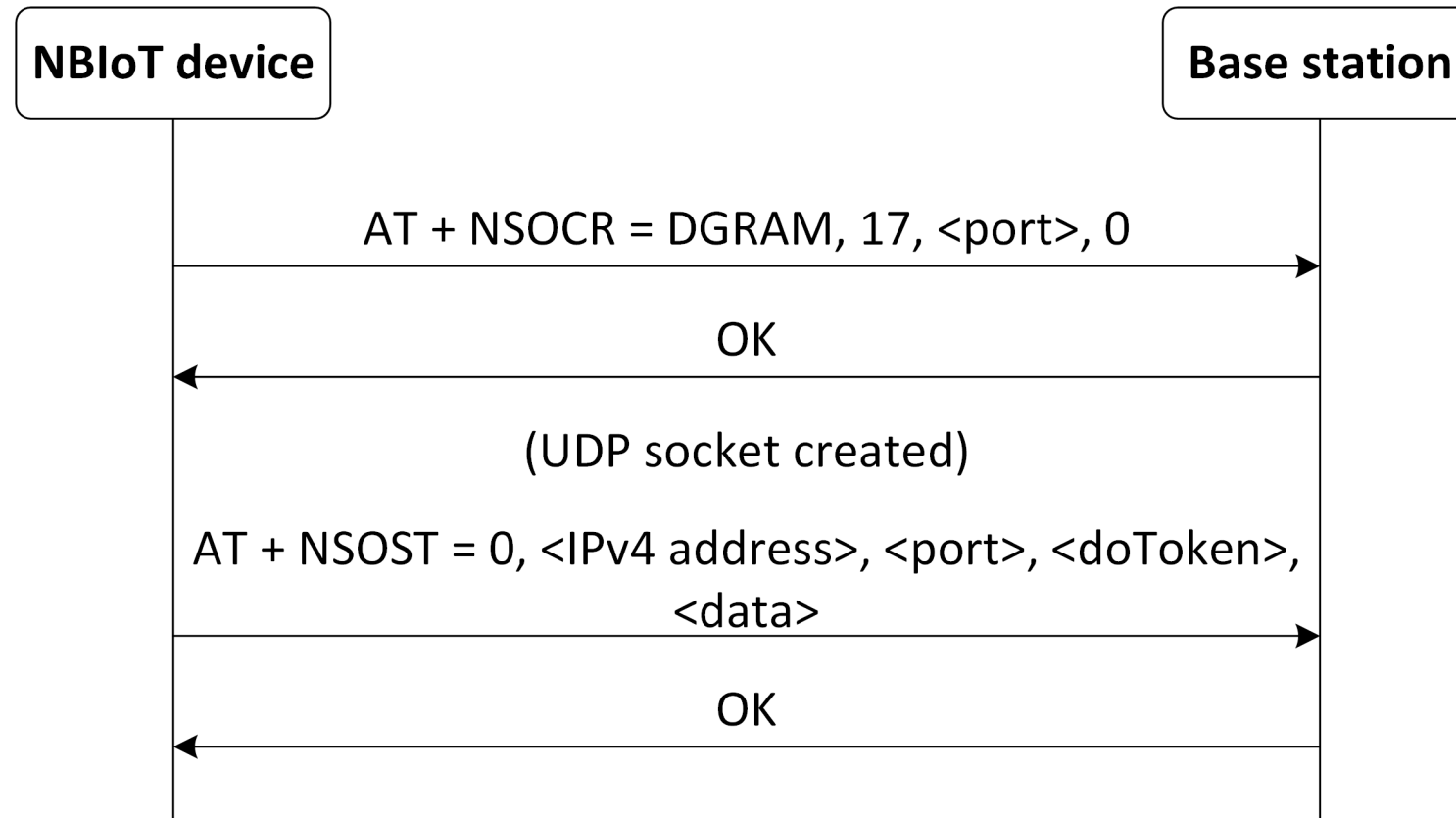
# Kreiranje socketa

- AT+NSOCR – kreiranje socketa
  - Format: AT+NSOCR=<type>,<protocol>,<listen port>[,<receive control>]
    - Type – dozvoljeno jedino DGRAM
    - Protocol – broj protokola ([vidi](#)), za UDP je 17
    - Listen port – lokalna vrata na kojima sluša (0-65535)
    - Receive control
      - 1 – treba primiti odgovor (podrazumijevano)
      - 0 – ne treba odgovor
- AT+NSOST - slanje paketa
  - Format: AT+NSOST=<socket>,<remote\_addr> ,<remote\_port>, <length>,<data>
    - Socket – broj vraćen u komandi AT+NSOCR

# Slanje UDP paketa

- AT+NSOST - slanje paketa
  - Format: AT+NSOST=<socket>,<remote\_addr> ,<remote\_port>, <length>,<data>
    - Socket – broj vraćen u komandi AT+NSOCR
    - Remote addr - IPv4 u notaciji s točkom (decimalno, oktavno ili hex)
    - Remote port – vrata na koja se šalje
    - Length – dužina u oktetima (max 512)
    - Data – podaci u HEX obliku
  - Primjer:
    - AT+NSOST=0,192.158.5.1,1024,2,AB30
    - Odgovor:
      - <socket>,<length>
      - OK

# Dijagram kreiranja socketa i slanja



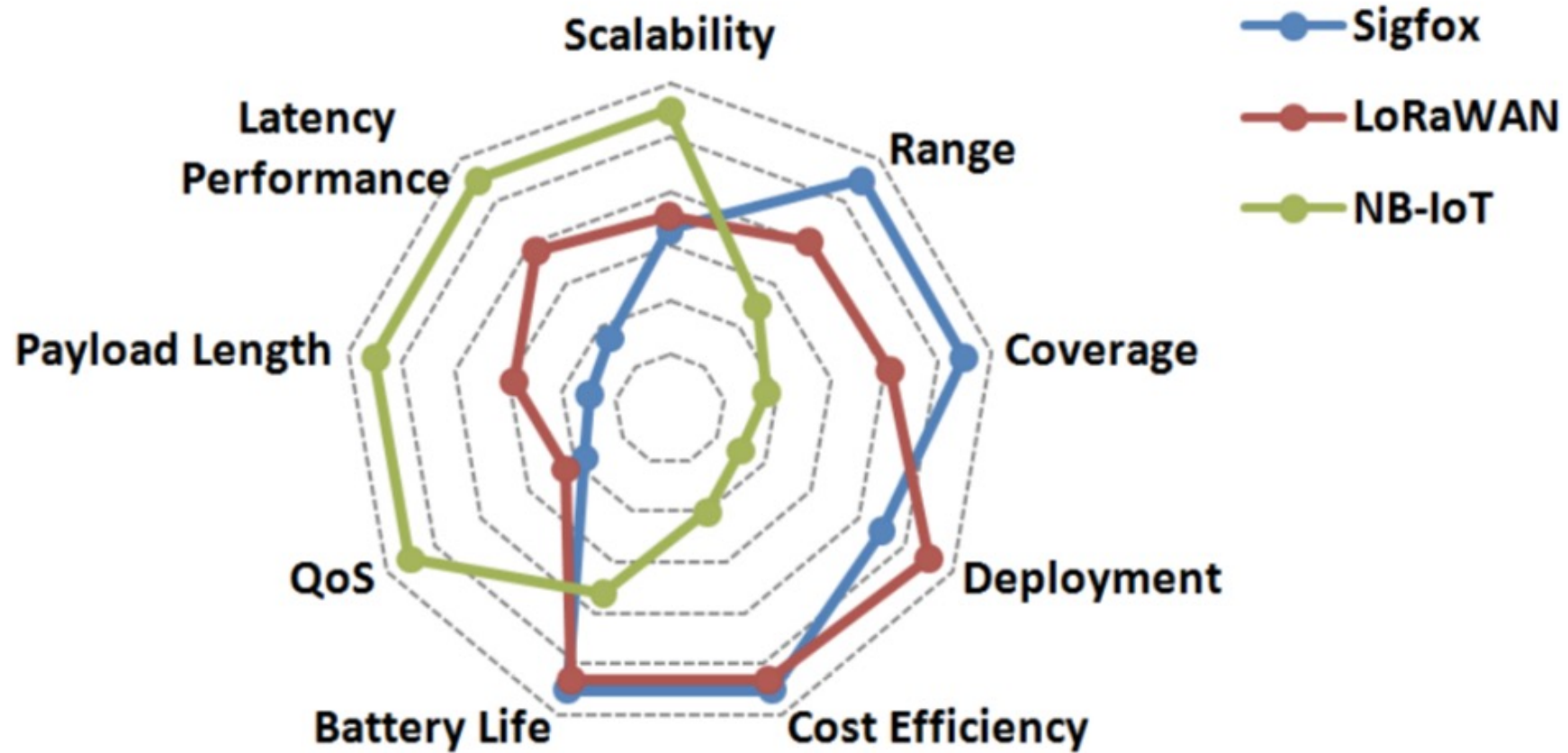
# Primanje UDP paketa

- AT+NSORF – primanje UDP paketa
  - Format: AT+NSORF=<socket>,<req\_length>
    - Socket – socket iz odgovora AT+NSOCR
    - Req length – max broj podataka koji će biti vraćen u broju okteta
  - Format odgovora: <socket>,<ip\_addr>,<port>,<length>,<data>,<remaining\_length>
    - Socket – socket
    - IP addr – adresa pošiljatelja
    - Length – dužina podataka
    - Data – podaci u hex stringu
    - Remaining length – količina podataka koje se može još pročitati za ovu poruku

Primjer komande:  
AT+NSORF=0,10

Odgovor:  
0,192.168.5.1,1024,2,ABAB,0  
OK

# Usporedba tehnologija



# Pitanja za ponavljanje

- Koja su osnovna svojstva LPWAN-a?
- Čemu služi Sigfox?
- Koliko se dnevno podataka može poslati pomoću Sigfoxa?
- Kakav je poslovni model Sigfoxa?
- Koja je razlika između tehnologija LoRa i LoRaWAN?
- Od koja 4 elementa se sastoji mrežna arhitektura LoRae?
- Objasnite razliku između 3 klase LoRa uređaja.
- Objasnite 2 načina aktivacije uređaja u LoRai.
- Čemu služi LTE-M?
- Koja je razlika između: LTE Cat-0, LTE Cat-1 i LTE Cat-M1?
- Koja su svojstva LTE Cat-M1?
- Što je NB-IoT i koja su mu svojstva?
- Kako se može smjestiti NB-IoT kanal?
- O čemu ovisi odabir neke tehnologije za neko IoT rješenje?